УДК 556.42.57.4 (571.1)

ИОННЫЙ СТОК СРЕДНЕЙ ОБИ И ЕЕ КРУПНЫХ ПРИТОКОВ

О.Г. Савичев

Томский политехнический университет
E-mail: OSavichev@mail.ru

Проведены исследования изменений суммарного и подземного водного и ионного стоков р. Оби и ее крупных притоков за последние 50–70 лет. Получена оценка нормы ионного стока ряда крупных рек обского бассейна, сформировавшейся в 1970–2000-е гг. Для Средней Оби суммарный ионный сток составляет 17...24 млн т/год, из которых 8...12 млн т/год приходится на подземную составляющую. Выявлено увеличение подземного водного и ионного стоков крупных притоков Оби в 1960–1970-е гг. Установлено, что по мере возрастания заболоченности речных водосборов и доли верховых болот с юга на север повышается роль подземного выноса главных ионов – от 25 % годового стока в нижнем течении р. Томи до 70...80 % в равнинной части бассейна Средней Оби.

Введение

Ионный сток служит важной характеристикой водосборных бассейнов, а знание общих закономерностей его изменения является необходимым условием выявления механизмов и масштабов взаимодействия между компонентами природной среды и объективной оценки геоэкологического состояния территорий [1, 2]. С учетом этого, определе-

ние величины гидрохимического стока рек и закономерностей его пространственно-временных изменений является одной из актуальнейших водных проблем. В данной работе эта проблема рассмотрена применительно к средней части обского бассейна, территориально соответствующей Томской области и характеризующейся высокой заболоченностью, развитием нефтегазодобывающего комплекса и химической промышленности.

Целью исследований являлось определение среднемноголетней величины ионного стока наиболее крупных рек региона (рр. Оби, Томи, Чулыма, Кети, Тыма, Васюгана, Парабели, Чаи) и ее подземной составляющей. Для достижения этой цели необходимо решение таких задач, как определение нормы суммарного и подземного водного стока и макрокомпонентного состава речных вод, в том числе в зимний период, что обусловило методику исследований и структуру данной работы.

Исходной информацией послужили материалы многолетних гидрологических и гидрохимических наблюдений Росгидромета, Территориального Центра "Томскгеомониторинг", Томского политехнического университета (ТПУ) и Томского филиала Института геологии нефти и газа (ТФ ИГНГ) СО РАН, в том числе полученные с участием автора [3–5]. Местоположение пунктов наблюдений на реках, сведения по которым использованы в данной работе, показано на схеме (рис. 1).

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ данных многолетних наблюдений за водным стоком рек бассейна Средней Оби, проведенный автором отчасти совместно с В.А. Земцовым, В.В. Паромовым [3] и С.Ю. Краснощековым [4], позволил выделить однородные периоды его формирования, а также оценить норму годового суммарного и подземного стока [5]. Последний определялся как сумма среднемесячных значений подземного водного стока $Q_{подз.}$, которые с декабря по март принимались равными среднемесячному водному стоку рек, а в прочие месяцы – вычислялись линейной интерполяцией по формуле:

$$Q_{подз.} = Q_{март} + (i-3)\frac{Q_{декабрь} - Q_{март}}{9},$$

где $Q_{март}$ и $Q_{декабрь}$ – среднемесячные значения водного стока рек в марте и декабре, соответственно; i – номер рассматриваемого календарного месяца. Методика и материалы статистического анализа изменений годового и среднемесячного водного стока приведены в [3, 5]. Ниже рассмотрены лишь основные результаты анализа многолетних изменений годового подземного водного стока.

Ранее, в работе [5], было показано, что в бассейне Средней Оби в течение последних десятилетий в период зимней межени происходит определенное увеличение речного стока, почти целиком состоящего из подземных вод. В результате выполненной нами проверки на однородность и случайность аналогичный вывод получен для продолжительного временного интервала, а именно – примерно в 1960–1970 гг. произошло увеличение подземного водного стока на рассматриваемой территории (табл. 1). Для установленных однородных периодов были получены значения нормы подземного водного стока, в целом согласующиеся (в процентном отношении от суммарного речного стока) с данными [6, 7], а затем использованные для определения ионного стока.

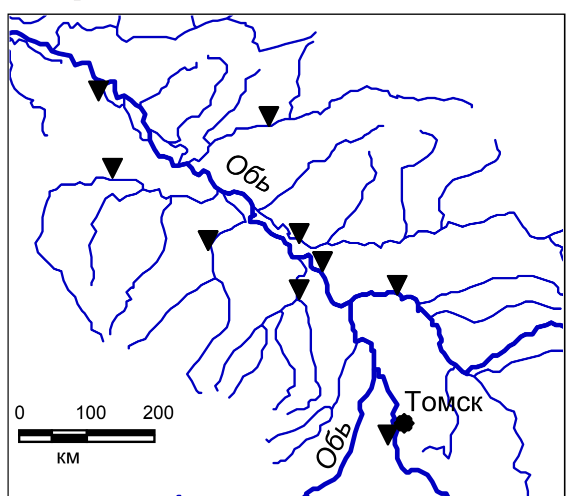


Рис. 1. *Схема расположения пунктов гидрологических наблюдений (▼ – пункты наблюдений)*

На основе полученных данных о водном стоке рек рассматриваемой территории, химическом составе их вод и с учетом рекомендаций [1, 8] были проведены расчеты стока главных ионов (ионного стока). Ионный сток Средней Оби и ее крупных притоков в конкретный год определялся суммированием величин стока за двенадцать месяцев, каждая из которых вычислялась как произведение месячного водного стока и среднемесячной суммы главных ионов $\Sigma_и$. Последняя величина рассчитывалась по зависимости между срочными значениями $\Sigma_и$ и среднесуточными расходами воды (при условии соблюдения принятого в гидрологии критерия качества):

$$\Sigma_и = a \cdot Q + b,$$

где Q – расход воды в реке; a, b – константы, полученные методом наименьших квадратов.

Полученные в пределах статистически однородных периодов формирования годового водного стока последовательности значений годового ионного стока Средней Оби и ее притоков были подвергнуты проверке на случайность и однородность. Кроме того, на наличие неслучайных изменений были проверены ряды величин сезонного ионного стока. Результаты этого анализа, как и в случае исследования изменений среднегодовых и среднемесячных расходов воды [6], позволили сделать вывод об относительно устойчивом в течение 1970–2000 гг. годовом ионном стоке большинства рек рассматриваемой территории и, вместе с тем, об определенном увеличении ионного стока за период зимней межени. Так, при уровне значимости 5 % наблюдается статистически значимое увеличение зимнего ион-

ного стока рр. Томи, Чулыма, Тыма, Васюгана, Парабели и Чаи (табл. 2; гипотеза о неслучайном изменении рассматриваемой величины принимается, если фактическое значение критерия Питмена больше критического $\pi_{кр.}$; знак π соответствует направлению изменения). Достоверные нарушения однородности рядов среднегодовых значений годового ионного стока в пределах рассмотренных временных интервалов не выявлены.

Таблица 1. *Среднегодовые значения подземной составляющей ($Q_{подз.}$) суммарного водного стока и их стандартные отклонения (σ_Q) за статистически однородные периоды, м^3/с*

Река	Пункт	Период	$Q_{подз.}$	σ_Q
Обь	г. Колпашево* (наблюденный)	1962–2002	1205	104
	(восстановленный)		1125	156
Обь	с. Прохоркино	1974–1996	1728	234
Томь	г. Томск	1942–1963	178	45
		1964–2002	189	33
Чулым	с. Батурино	1938–1970	214	27
		1971–2002	231	33
Кеть	с. Родионово	1955–2002	197	21
Тым	с. Напас	1964–1974	70	10
		1975–2002	78	11
Васюган	с. Средний Васюган	1936–1958	33	9
		1959–1996	38	10
Парабель	с. Новиково	1958–1971	22	4
		1972–2002	24	6
Чая	с. Подгорное	1953–1969	22	4
		1970–2002	25	4

** приведены материалы непосредственных наблюдений за водным стоком и ряды, восстановленные по данным о стоке рр. Томи и Чулыма*

Для однородных периодов формирования годового водного стока были расчитаны среднегодовые, среднесезонные величины суммарного ионного стока и определены значения его подземной составляющей (табл. 3, 4). Методика вычисления подземного ионного стока аналогична получению соответствующих годовых величин водного стока. Сперва для каждого месяца конкретного года рассчитывалась среднемесячная величина суммы главных ионов $\Sigma_{и,подз.}$ (в подземном стоке) по зависимости:

$$\Sigma_{и,подз.}=a\cdot Q_{подз.}+b,$$

где $Q_{подз.}$ – среднемесячный подземный водный сток, м^3/с. Затем месячные значения подземного ионного стока суммировались за весь год.

В результате выполненных вычислений было установлено, что доля подземного стока изменяется от 20...30 % в водосборе р. Томи до 70...80 % в равнинной части обского бассейна, причем наблюдается ее рост по мере увеличения заболоченности водосборов и уменьшения модулей водного стока (табл. 5). Подземный сток самой Оби последовательно увеличивается от 47...58 % у г. Колпашева до 50...67 % у с. Прохоркино, что не противоречит данным В.П. Зверева [2], согласно которому на долю подземного стока через речную сеть приходится 69 % общего стока растворенных веществ. Как и в работе [1], было отмечено, что большая часть главных ионов выносится в периоды с повышенной водностью. При этом следует отметить, что с юга на север происходит перераспределение сезонного ионного стока, характеризующееся уменьшением по мере движения водных масс доли ионного стока в апреле-июне и увеличением – в остальную часть года. Причиной этого является смещение на более

Таблица 2. *Результаты проверки по критерию Питмена на наличие трендов рядов ионного стока Средней Оби и ее крупных притоков за год и по его сезонам*

Река, пункт	Показатель*	Сток за период: Год	IV–VI	VII–XI	XII–III
Обь, г. Колпашево	π	1,18	1,61	0,69	–0,76
	$\pi_{кр}$	2,03	2,03	2,03	2,03
Обь, с. Прохоркино	π	1,34	1,40	0,79	1,03
	$\pi_{кр}$	2,13	2,13	2,13	2,13
Томь, г. Томск	π	1,48	1,38	0,53	2,87
	$\pi_{кр}$	2,00	2,00	2,00	2,00
Чулым, с. Батурино	π	0,28	0,81	–0,85	2,88
	$\pi_{кр}$	2,01	2,01	2,01	2,01
Кеть, с. Родионово	π	–0,93	0,35	–1,25	–0,49
	$\pi_{кр}$	2,04	2,04	2,04	2,04
Тым, с. Напас	π	0,75	–0,71	0,44	2,94
	$\pi_{кр}$	2,06	2,06	2,06	2,06
Васюган, с. Средний Васюган	π	–1,30	–3,00	–0,37	2,63
	$\pi_{кр}$	2,01	2,01	2,01	2,01
Парабель, с. Новиково	π	1,90	1,18	1,44	3,95
	$\pi_{кр}$	2,08	2,08	2,08	2,08
Чая, с. Подгорное	π	1,30	0,95	0,42	2,72
	$\pi_{кр}$	2,02	2,02	2,02	2,02

** фактические (π) и критические ($\pi_{кр.}$) значения критерия Питмена, коэффициенты автокорреляции и их критические значения*

Таблица 3. *Среднемноголетние значения ионного стока ($G_г$) Средней Оби, ее притоков и их стандартные отклонения (σ_G), млн т/год*

Река, пункт	Период	$G_г$	σ_G
Обь, г. Колпашево (наблюденный)	1962–2002	17,893	1,252
(восстановленный)		16,705	1,168
Обь, с. Прохоркино	1974–1996	23,420	1,556
Томь, г. Томск	1942–2002	4,228	0,505
Чулым, с. Батурино	1938–2002	4,018	0,445
Кеть, с. Родионово	1955–2002	1,532	0,154
Тым, с. Напас	1975–2002	0,350	0,025
Васюган, с. Средний Васюган	1936–1996	0,613	0,117
Парабель, с. Новиково	1968–1999	0,468	0,141
Чая, с. Подгорное	1953–2002	0,512	0,068

Таблица 4. *Норма ионного стока р. Оби и ее притоков, млн т/год (% от годового стока)*

Пункт	Суммарный сток за период			Годовой подземный сток
	IV–VI	VII–XI	XII–III	
Обь, г. Колпашево (наблюденный)	7,360 (41)	7,795 (44)	2,738 (15)	8,393 (47)
(восстановленный)	6,871	7,277	2,557	7,835
Обь, с. Прохоркино	8,785 (38)	10,806 (46)	3,829 (16)	11,724 (50)
Томь, г. Томск	2,514 (59)	1,384 (33)	0,330 (8)	1,045 (25)
Чулым, с. Батурино	1,779 (44)	1,687 (42)	0,552 (14)	1,714 (43)
Кеть, с. Родионово	0,510 (33)	0,728 (48)	0,294 (19)	0,987 (64)
Тым, с. Напас	0,101 (29)	0,177 (51)	0,072 (20)	0,232 (66)
Васюган, Средний Васюган	0,232 (38)	0,303 (49)	0,078 (13)	0,248 (40)
Парабель, с. Новиково	0,175 (38)	0,212 (45)	0,081 (17)	0,270 (58)
Чая, с. Подгорное	0,179 (35)	0,210 (41)	0,124 (24)	0,392 (76)

Таблица 5. *Коэффициенты корреляции между долей подземного ионного стока ($G_{u,подз.}$), модулем суммарного водного стока (M_Q) и долей заболоченности водосбора ($f_{бол.}$)*

Показатель	M_Q	$G_{u,подз.}$	$f_{бол.}$
M_Q	1	−0,64	**−0,82**
$G_{u,подз.}$	−0,64	1	0,58
$f_{бол}$	**−0,82**	0,58	1
$i_{ср.взв}$	**0,97**	−0,67	−0,78

поздние даты сроков весеннего половодья и большая растянутость во времени последнего на реках северной части рассматриваемой территории.

Оценка возможных долгосрочных изменений ионного стока

С учетом изложенных выше данных возникает вопрос о влиянии на величину годового стока возможного увеличения зимнего водного стока в будущем. Для ответа на него за период с 2004 по 2040 гг. был смоделирован ряд величин годового ионного стока $G_{u,год.}$ р. Томи, каждый элемент которого определялся по выражению:

$$G_{u,год.} = G_{u,IV-VI} + G_{u,VII-XI} + a \cdot [год] + b,$$

где $G_{u,IV-VI}$ и $G_{u,VII-XI}$ – среднемноголетние значения сезонного ионного стока за апрель-июнь и июль-ноябрь, соответственно. Полученные последовательности проверялись на однородность по критерию Стьюдента при условии неизменной дисперсии и сохранения выявленных тенденций в течение всего расчетного времени. В результате было установлено, что в ближайшие 30–40 лет изменения годового ионного стока р. Томи вследствие соответствующих увеличений его подземной составляющей маловероятны (рис. 2). Для уровня значимости 5 % гипотеза о нарушении однородности по среднему при сравнении рядов фактических и смоделированных значений не подтвердилась.

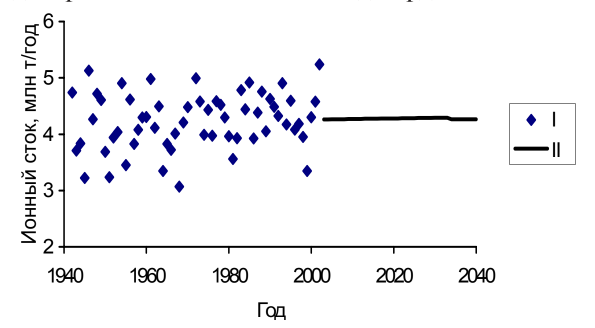


Рис. 2. *Наблюденные (I) и прогнозные (II) значения годового ионного стока р. Томи у г. Томска; критерий Стьюдента t_s=0,5; $t_{кр.}$=2,3*

Заключение

По результатам выполненных расчетов и обобщений можно сделать следующие выводы. Во-первых, ионный сток рек бассейна Средней Оби (18...24 млн т/год) многократно превышает сброс минеральных солей со сточными водами в Алтайском крае, Новосибирской, Кемеровской и Томской областях (в среднем за 1995–1996 гг. – 0,613 млн т/год по сухому остатку), что указывает на незначительную роль последнего в формировании современного ионного стока и макрокомпонентного состава больших и средних рек рассматриваемой территории. Во-вторых, за период с 1970–1980-х гг. по 2002 г. норма суммарного годового ионного стока в бассейне Средней Оби статистически неизменна, а отклонения от нее связаны в основном с колебаниями водности. В то же время, отмечается постепенное изменение его внутригодового распределения за счет увеличения подземной составляющей стока крупных притоков р. Оби. Норма годового подземного ионного стока непосредственно р. Оби сформировалась под определенным воздействием сезонного регулирования стока Новосибирским водохранилищем и оставалась условно постоянной в течение 1962–2002 гг.

Работа выполнена при поддержке гранта Минпромнауки РФ № НШ-1566.2003.05 и интеграционного проекта СО РАН № 167.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алекин О.А., Бражникова Л.В. Сток растворенных веществ с территории СССР. – М.: Наука, 1964. – 144 с.
2. Зверев В.П. Массопотоки подземной гидросферы. – М.: Наука, 1999. – 97 с.
3. Земцов В.А., Паромов В.В., Савичев О.Г. Изменения водного стока крупных рек юга Западной Сибири в XX столетии // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Матер. Всерос. научн. конф. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – С. 321–324.
4. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 2002 г. / Под ред. В.А. Льготина: Информационный бюллетень. – Томск: ТЦ "Томскгеомониторинг", 2003. – Вып. 4. – 84 с.
5. Савичев О.Г. Реки Томской области: состояние, использование и охрана. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2003. – 202 с.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР / Под ред. Н.А. Паниной. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 408 с.
7. Ресурсы пресных и маломинерализованных подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна / Под ред. Е.В. Пиннекера, И.П. Васильева, Н.А. Ермашовой и др. – М.: Недра, 1991. – 262 с.
8. Справочник по гидрохимии / Под ред. А.М. Никанорова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 391 с.

УДК 543.42